

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑰ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 198 21 544 A 1

⑮ Int. Cl. 6:  
**H 01 S 3/043**  
H 01 S 3/25  
H 01 L 21/58

⑯ Aktenzeichen: 198 21 544.4  
⑯ Anmeldetag: 14. 5. 98  
⑯ Offenlegungstag: 16. 12. 99

DE 198 21 544 A 1

⑯ Anmelder:  
JENOPTIK AG, 07743 Jena, DE

⑯ Erfinder:  
Lorenzen, Dirk, 07747 Jena, DE; Daiminger, Franz,  
99423 Weimar, DE; Dorsch, Friedhelm, 65185  
Wiesbaden, DE; Süß, Katja, 07745 Jena, DE

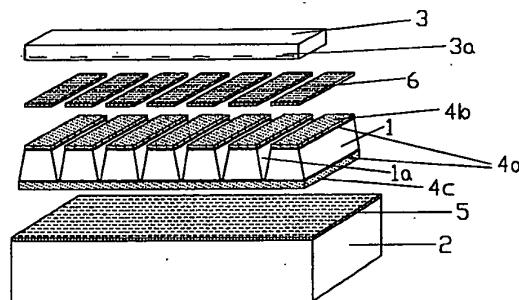
⑯ Entgegenhaltungen:  
DE 196 05 302 A1  
DE 195 06 093 A1  
US 46 97 205  
EP 05 90 232 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Diodenlaserbauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

⑯ Diodenlaserbauelement, bestehend aus einem Laserbarren 3 und einer Wärmesenke, die aus einem Träger 2 besteht, welcher flächig mit einem dielektrischen Substrat 1 verbunden ist und an dessen Oberseite eine Metallisierung 4a, 4b zur elektrischen Stromführung und Kontaktierung vorhanden ist, auf die der Laserbarren 3 mittels eines Lotes 6 montiert ist.  
Das dielektrische Substrat 1 ist über die Laserbarren-Breite in Form einer Reihe einzelner Teilsubstrate zu Stegen 1b ausgebildet, so daß sich an der Oberseite der mit dem Träger 2 flächig verbundenen Reihe von Teilsubstraten 1b im Bereich der Montagefläche des Laserbarrens 3 ein thermischer Ausdehnungskoeffizient ergibt, der dem des Laserbarren-Materials auf weniger als 25% angepaßt ist.



DE 198 21 544 A 1

## Beschreibung

Unter Hochleistungsdiodenlasern werden Halbleiter-Laserbarren verstanden, die aus einer Reihe von n einzelnen Laserdioden von Emittoren der Breite b bestehen, die um einen Versatz a nebeneinander angeordnet sind. Die Länge r der optischen Resonatoren ist in der Regel deutlich kleiner als die Gesamtbreite B = n a des Laserbarrens. Typische Werte für Hochleistungsdiodenlaser liegen im Bereich von  $n=7\ldots100$ ,  $b=10\ldots500\mu\text{m}$ ,  $a=20\ldots2000\mu\text{m}$ ,  $r=0.3\ldots2\text{mm}$ ,  $B=2\ldots15\text{mm}$ . Der Füllfaktor f, das Verhältnis von der Emittertypbreite zum Emitterversatz,  $f = b/a$ , variiert zwischen 20% (Dauerstrich-Betrieb) und 90% (gepulster Betrieb). Gegenwärtig belaufen sich die optischen Ausgangsleistungen von Hochleistungsdiodenlasern auf 5 bis 280 W. Sie bestehen im wesentlichen aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid (GaAs) von 80 bis 150  $\mu\text{m}$  Dicke.

Bedingt durch verschiedene Verlustmechanismen werden nur 20% bis 60% der in den Diodenlaser eingebrachten elektrischen Leistung in optische Leistung umgewandelt; der Rest wird in Form von Wärmeenergie frei und sorgt für eine Erwärmung des Bauteiles. Die auftretenden Wärmeleistungsdichten können  $3\text{ kW/cm}^2$  übersteigen. Der ganze Laserbarren produziert dabei Verlustleistungen in der Größenordnung von 50 bis 200 Watt. Um eine gute Wärmeabfuhr zu gewährleisten, wird der Laserbarren auf eine Wärmesenke aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit (größer als  $100\text{ W/(m K)}$ ) montiert, und zwar mit seiner wärmeerzeugenden Seite, der Epitaxieseite, die meist den elektrisch positiven Kontakt darstellt, nach unten. Laserbarren und Wärmesenke gemeinsam bilden ein Diodenlaserbauelement.

Dabei ist darauf zu achten, daß die Montagefläche auf der Wärmesenke so eben wie möglich ist, weil man für eine effiziente optische Strahlformung des Diodenlaserlichts darauf angewiesen ist, daß sämtliche Laserdioden-Emitter auf einer Linie liegen, die von einer Geraden um nicht mehr als  $2\mu\text{m}$  abweicht (der sogenannte "smile").

Für eine Lebensdauer von mehr als 10 000 h darf die Temperatur des Laserbarrens nicht höher sein als  $70^\circ\text{C}$ . Für einen Betrieb bei Raumtemperatur wird damit ein thermischer Widerstand der Wärmesenke des Diodenlaserbauteiles von 0.2 bis 0.6 K/W gefordert. In der folgenden Tabelle sind eine Reihe von Materialien aufgeführt, die für den Aufbau einer solchen Wärmesenke in Frage kommen können. Außer ihrer Wärmeleitfähigkeit sind ihre thermo-mechanischen Kenngrößen wie linearer Ausdehnungskoeffizient und Elastizitäts-Modul angegeben, weil sie für Verbindungen mehrerer dieser Werkstoffe untereinander durch Schweiß- oder Lötprozesse eine wichtige Rolle spielen.

MATERIAL	Wärmeleitfähigkeit [W/(m · K)]	linearer Ausdehnungskoeffizient [ppm/K]	Elastizitäts-Modul [GPa]
CVD-Diamant	1800	1.2	1050
t-cBN	600	3.7	850
SC-SiC	490	3.4	390
BeO	250	7.6	330
AlN	180	4.5	320
Si	120	2.6	160
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30	6.7	350
Silber	430	18.9	74
Kupfer	400	16.5	120
Gold	320	14.2	80
Aluminium	240	23.1	70
Wolfram	170	4.5	380
Molybdän	140	4.8	320
GaAs	44	6.5	850

Wie aus der Tabelle ersichtlich, weisen die aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit für eine Wärmesenke besonders geeigneten Materialien zu GaAs, als typisches Material für den Laserbarren, einen stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf.

Um insbesondere der genannten Forderung nach einer ebenen Montagefläche gerecht zu werden, muß jedoch die Verbindung zwischen Laserbarren und Wärmesenke möglichst frei von Biegespannungen sein. Dies wird prinzipiell dadurch erreicht, daß die unterschiedliche Ausdehnung der Wärmesenke und die des Laserbarrens kompensiert wird (z. B. mittels Weichlot) und/oder eine Ausdehnungsanpassung der Wärmesenke an die Ausdehnung des Laserbarrens erfolgt.

Bekannt ist das Auflöten eines Laserbarrens mit Hilfe eines Weichloches (zum Beispiel Blei-Zinn) auf eine Wärme-

# DE 198 21 544 A 1

senke aus massivem Kupfer, die an ihrer Unterseite beispielsweise mit einem Peltier-Element gekühlt wird oder das Auflöten eines Laserbarren mit Hilfe eines Weichlotes auf eine Mikrokanal-Wärmesenke, die aus Kupfer oder Silizium besteht und von einem Kühlmedium durchströmt wird.

Das Weichlot dient in beiden Fällen dazu, die mechanischen Spannungen, die sich beim Abkühlen nach der Löting in den Fügepartnern wegen deren unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  (für Kupfer:  $\alpha = 16.5 \text{ ppm/K}$ , für GaAs:  $\alpha = 6.5 \text{ ppm/K}$ ) ergeben, durch plastisches Fließen abzubauen. Eine solche Spannungsreduzierung ist nötig, weil zu hohe mechanische Spannungen im Laserbarren die Lebensdauer des Diodenlasers nachteilig beeinflussen: Es kann zu Abgleitungen im GaAs-Material, zu einem Totalausfall einzelner Laserdioden oder sogar zum Bruch des Laserbarrens kommen.

Allerdings erweisen sich Weichlote im Lebensdauertest bei hohen Leistungen als nicht langzeitstabil. Hohe Stromdichten und der Einfluß mechanischer Restspannungen in der Lotfuge fördern Elektromigration und Whiskerbildung in der Lotschicht. In Folge kommt es zu einer Degradation des Diodenlasers oder sogar zu einem Ausfall. Dieser Effekt ließe sich durch eine Verringerung der Restspannungen in der Fügezone abschwächen, mit anderen Worten: indem der Ausdehnungskoeffizient der Wärmesenke dem des Laserbarren-Materials weitgehend (bis auf etwa 2 ppm/K) angepaßt wird.

Der letztendliche Ausweg besteht jedoch darin, anstelle des Weichlotes ein Hartlot (zum Beispiel Gold-Zinn) zu verwenden, das in wesentlich geringerem Maße zur Elektromigration neigt. Wegen des geringen Fließvermögens von Hartlot ist es zwingend erforderlich, den Laserbarren auf eine Wärmesenke zu löten, deren Ausdehnungskoeffizient dem des Laserbarrens besser als 0.5 ppm/K entspricht, damit ein Aufbau mechanischer Spannungen im Lötzprozeß vermieden wird. Eine solche Wärmesenke kann zum Beispiel aus dem Komposit-Werkstoff Kupfer-Wolfram (CuW) bestehen, welches allerdings gegenüber Kupfer eine wesentlich niedrigere Wärmeleitfähigkeit besitzt.

Aus der DE 196 44 941 ist eine Lösung bekannt, bei der auf eine Ausdehnungsanpassung der Wärmesenke völlig verzichtet wird. Die bei der Abkühlung nach der Hartlöting entstehenden, auf den Laserbarren wirkenden Zugspannungen, führen gezielt zum Reißen des Laserbarrens an definierten Sollbruchstellen zwischen den Emittoren. Der Laserbarren wird so in eine Anzahl von  $k$  Einzellaserdioden oder Laserdiodengruppen aufgeteilt (spannungsinduzierte Vereinzelung). Damit wird eine einzige große Ausdehnungsdifferenz  $\Delta L$  des ganzen Laserbarrens gegenüber dem Substrat auf eine Anzahl  $k$  kleinerer Ausdehnungsdifferenzen  $\Delta L/k$  von Laserdiodengruppen gegenüber der ihnen zugeordneten Verbindungsfläche reduziert, die nur noch vernachlässigbare Spannungen zur Folge haben.

Für verschiedene Materialverbindungen von Laserbarren und Wärmesenke bestehen dennoch Bedenken, ob die im Montageprozeß auftretenden, für die kontrollierte Vereinzelung wirksam werdenden Zugspannungen Auswirkungen auf die Lebensdauer des Diodenlaserbauelementes haben.

In diesem Zusammenhang kann es daher von Vorteil sein, Materialien mit verschiedenen thermischen und thermomechanischen Eigenschaften zu einer Wärmesenke zu kombinieren, die in ihrer Ausdehnung an die des Laserbarrens angepaßt ist. Die Wärmesenke kann z. B. aus einem massiven Träger und einem Substrat bestehen, das auf den Träger aufgelötet ist. Unter einem Substrat soll eine Schicht eines Werkstoffes zu verstehen sein, deren Dickenabmessungen klein gegenüber ihren Längen- und Breitenabmessungen sind. Ein solches Substrat ist im Stand der Technik eine durchgängige Schicht (geschlossenes Substrat).

So gehört es zum Stand der Technik, sich die Ausdehnungsanpassung des CuW in Form des Substrats und die hohe Wärmeleitfähigkeit des Kupfer in Form des Trägers für die Konstruktion einer Wärmesenke zu Nutze zu machen, indem man den Laserbarren mit Hartlot auf das CuW-Substrat lötet und dieses dann anschließend mit Weichlot auf den Kupferträger.

In der Patentschrift DE 196 05 302 wird eine Wärmesenke aus drei Substraten gebildet, bei der erst die stoffschlüssige flächige Verbindung aller drei Substrate das Ziel der Ausdehnungsanpassung der Wärmesenke erreicht. Hier wird ein Substrat von gegenüber GaAs niedrigerem Ausdehnungskoeffizient (eine AlN-Keramik oder ein Wolfram-Blech) beidseitig mit einem höher wärmeleitfähigen Metall von einem gegenüber GaAs höheren Ausdehnungskoeffizienten (zum Beispiel Kupfer) so stark beschichtet, daß sich ein effektiver Ausdehnungskoeffizient der Wärmesenke ergibt, der an der Montagefläche des Laserbarrens dem des Laserbarren-Materials entspricht.

Nachteilig bei dieser Lösung, wie auch bei der vorangegangenen, ist der Umstand, daß keine Materialien verwendet werden, deren Wärmeleitfähigkeit höher als die von Kupfer ist. Ein solches Material sollte aber gerade in Form eines Substrats möglichst dicht an der wärmeerzeugenden Region des Diodenlaserbauelements liegen, um die hohen Wärmeleistungsdichten effektiv zu spreizen. An dieser Stelle soll da-her die Definition eines höchst wärmeleitfähigen Substrats eingeführt werden, das sich dadurch auszeichnet, daß die Wärmeleitfähigkeit seines Materials höher liegt als die aller Metalle, sprich größer ist als 420 bis 430 W/(m K) (größer als der Wert für Silber bei Raumtemperatur). Solche Substanzen existieren nur in geringer Anzahl. Zu ihnen gehören einkristallines Siliziumcarbid (SC-SiC), transluzentes kubisches Bornitrid ( $t\text{-cBN}$ ), thermisch oder hochorientiertes pyrolytisches Graphit (TPG, HOPG) und chemisch aus der Dampfphase abgeschiedener Diamant (CVD-Diamant). Sie haben allesamt den Nachteil, daß ihr thermischer Ausdehnungskoeffizient um einen Betrag von mindestens 2 ppm/K gegenüber GaAs fehlangepaßt ist in der Weise, daß es bei einer Hartlöting des Laserbarrens auf solche Substrate stets zu schädlichen Zugspannungen im Diodenlaser kommen muß.

Neben der geringeren Wärmeleitfähigkeit metallischer Werkstoffe gegenüber den genannten nichtmetallischen, höchst wärmeleitfähigen Werkstoffen, gibt es einen weiteren Grund für den Verzicht auf metallische Werkstoffe im Substrat, der sich aus der Forderung einiger Anwendungen ergibt, die Laserdioden im Laserbarren einzeln und unabhängig voneinander zu betreiben (individuelle Adressierbarkeit). Dies läßt sich im Stand der Technik nur durch die Montage des Laserbarrens auf ein entsprechend mit Leiterbahnen strukturiert metallisiertes dielektrisches Substrat (Dielektrikum) erreichen. Unter einem Dielektrikum soll in diesem Zusammenhang ein Werkstoff mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von mehr als 1 mOhm cm verstanden werden.

Entsprechend den vorangestellten Ausführungen kommt man auf vier wesentliche physikalisch-technische Anforderungen für die Konzeption eines Diodenlaserbauelements:

(a) Ein möglichst niedriger thermischer Widerstand der Wärmesenke verlangt die Verwendung eines höchst wärmeleitfähigen Substrats.

(b) Eine individuelle Adressierbarkeit verlangt die Montage auf ein dielektrisches Substrat, das örtlich definiert metallisiert ist.

5 (c) Eine lange Lebensdauer des Diodenlaserbauelementes verlangt die Montage mit Hilfe eines elektromigrationsfesten Hartlötes auf einer bezüglich des Laserbarren-Materials ausdehnungsangepaßten Wärmesenke.

(d) Der geringe "smile" des Laserbarrens setzt eine sehr ebene Montagefläche der Wärmesenke voraus, die in dem Anspruch resultiert, Substrat und Träger zuvor verkrümmungs- und spannungsarm miteinander verbunden zu haben.

10 Es gibt nach dem Stand der Technik eine Reihe von Versuchen, zumindest in Teilen diesen Anforderungen gerecht zu werden, wobei der Punkt (c), die Ausdehnungsanpassung, im Mittelpunkt steht:

Im Patent WO 94/24703 wird vorgeschlagen, die Oberfläche von CVD-Diamant-Substraten zu strukturieren und die entstandenen Nuten oder Bohrungen mit Metall eines deutlich höheren Ausdehnungskoeffizienten aufzufüllen. Thermomechanische Rechnungen zeigen aber, daß dieses Verfahren für Hochleistungs-Diodenlaser-Barren thermisch nicht vorteilhaft ist, da der Anteil an Metall in Chip-Nähe zu hoch ist – damit bleiben die Punkte (a) und (b) weitgehend unerfüllt.

15 Das Patent US 5,455,738 beschreibt ein Komposit-Material, das aus Diamantpartikeln von über 100 µm Größe besteht, die in eine Metallmatrix aus Aluminium oder Kupfer zu so einem Prozentsatz eingebracht sind, daß sich ein gewünschter effektiver Ausdehnungskoeffizient einstellt. Ein derartiges Kompositmaterial läßt aufgrund seiner mechanisch sehr unterschiedlichen Bestandteile keine mechanische Nachbearbeitung mehr zu, um die Montagefläche auf die für die Diodenlaser-Barren nötige Ebenheit zu polieren (Anforderung (d)). Außerdem ist der Metallgehalt wiederum so hoch, daß eine Verbesserung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Kompositis gegenüber reinem Kupfer nicht mehr als 20 50% beträgt. Für eine Adressierbarkeit einzelner Laserdioden besitzt diese Lösung kein Konzept.

25 Andere Patente gehen von einer Ausdehnungsanpassung durch einen Schichtaufbau aus.

Das Patent US 5,299,214 sieht vor, ein Diamant-Substrat auf einen Träger mit höherem Ausdehnungskoeffizienten zu setzen und die Materialdicken so zu variieren, daß sich der gewünschte Ausdehnungskoeffizient einstellt. Diese Lösung ist wegen ihrer mechanischen Asymmetrie für größere Flächen stark krümmungs- oder bruchgefährdet.

Eine symmetrische Lösung dieser Art, die Biegespannungen vermeidet, wird in der Offenlegungsschrift DE 195 06 093 verfolgt.

30 Sie propagiert eine zum Patent DE 196 05 302 umgekehrte Version, in der eine Kupferschicht in der Mitte mit zwei Schichten von niedrigerer thermischer Ausdehnung oben und unten verbunden ist. Zusätzlich können in die Kupferschicht in der Mitte Strukturen, die einer Kühlmittelführung dienen, eingebracht werden. Vorteil ist hier, daß der Diodenlaserbarren direkt auf dem metallisierten CVD-Diamanten montiert wird, und somit eine im Vergleich zu den anderen genannten Lösungsvorschlägen beste Wärmespreizung gegeben ist. Diese Erfindung ist zudem gegenüber allen anderen genannten die einzige, die das Potential des dielektrischen CVD-Diamant-Substrats hinsichtlich der elektrischen Adressierbarkeit einzelner Emitter bei gleichzeitig hervorragender Wärmespreizung ausnutzt. Nachteilig ist die durch den symmetrischen Aufbau gegebene Anzahl der Verbindungssebenen von mindestens drei, so daß es mindestens zwei Verbindungsflächen gibt. Des weiteren ist zu bemängeln, daß das verbindungstechnische Problem für das CVD-Diamant-Substrat innerhalb des Kühlelementes überhaupt nicht eruiert wird. Hier gilt es, eine wichtige technologische Lücke zu schließen durch die Betrachtung einer Wärmesenke, die nur aus einem Substrat und einem Träger aufgebaut ist:

Für die Ausdehnungsanpassung einer Wärmesenke, die ein höchst wärmeleitfähiges Substrat enthält, ist die mechanisch stabile Anbindung des Substrats an einen Träger nötig, der einen wesentlich höheren Ausdehnungskoeffizient als der des Laserbarren-Materials besitzt. Das zur Ausdehnungsanpassung nötige Dickenverhältnis von Substrat zu Träger wird bestimmt durch die unterschiedlichen elastischen Eigenschaften von beiden Materialien. Die zuvor geführte Diskussion hat 35 gezeigt, daß der Elastizitätsmodul des höchst wärmeleitfähigen Substrates generell um den Faktor 3 bis 10 höher ist als der des ausdehnungsanpassungsfähigen Trägers. Der ausdehnungsanpassende Einfluß eines Trägers konstanter Dicke wird erhöht, wenn sein Elastizitätsmodul ansteigt. Umgekehrt wird sein ausdehnungsanpassender Einfluß bei konstantem Elastizitätsmodul erhöht, wenn seine Dicke zunimmt. Wiederum wird bei konstanter, aber zu geringer Dicke des Trägers dessen ausdehnungsanpassender Einfluß erhöht, wenn sein linearer Ausdehnungskoeffizient anwächst.

40 Die Problematik einer Ausdehnungsanpassung durch die Verbindung der Fügepartner Substrat und Träger liegt in der Schaffung einer ebenen, thermisch dünnen und stabilen Fügezone zweier thermomechanisch sehr unterschiedlicher und dabei großflächiger Komponenten. Diese Problematik wurde bislang in noch keiner vorliegenden Publikation erfaßt.

Bei einer stabilen, ganzflächigen Verbindung ist man darauf angewiesen, daß die Fügezone durch plastisches Fließen 45 einem Abbau mechanischer Spannungen zwischen den Fügepartnern dient. Je größer die Verbindungsflächen sind, desto dicker müßte daher die Fügezone sein. Eine mehrere 10 µm dicke Fügezone wirkt sich aber nachteilig auf den thermischen Widerstand aus. Außerdem vermindert ein plastisches Fließen der Fügezone gerade die ausdehnungsanpassende Wirkung des Trägers und stellt damit zudem einen hinsichtlich der Langzeitstabilität technologisch schwer erfaßbaren Prozeß dar.

50 In der DE 196 44 941 wird der großflächige Laserbarren bei der Lötzung auf ein zugverspannendes Substrat bei der Montage in unabhängige kleinere Einzelschichten zerlegt, die keine Aufnahme von großen Zugspannungen mehr ermöglichen. Ein solcher Montageprozeß ist jedoch nur für Materialien möglich, die einerseits einen höheren Ausdehnungskoeffizienten als das Substrat besitzen und andererseits so gut wie keine plastischen Eigenschaften besitzen (Halbleiter und Salze). Für die Verbindung Träger – Substrat kommt ein solcher Fügeprozeß wegen der metallischen Eigenschaften des Trägermaterials nicht in Frage. Ebenso wenig vermag das Trägermaterial das Substrat durch Druckspannungen während 55 der Montage in kleinere, weniger spannungsgefährdete, Teilschichten zu zerlegen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Diodenlaserbauelement zu finden, mit einer aus einem Träger und einem höchst wärmeleitfähigen Substrat bestehenden Wärmesenke, die spannungs- und krümmungsarm mit dem Laserbarren verbunden ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

# DE 198 21 544 A 1

Während der Herstellung des erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelementes sollen die auf den Laserbarren einwirken-  
den Zugspannungen möglichst gering sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Substrat vor der Montage auf den Träger in eine Reihe von k Teilsubstraten zerlegt wird, die, wenn sie auch in gewissen Bereichen zur Erleichterung der Plazierung miteinander verbunden bleiben, doch als einzelne Teilsubstrate unabhängig voneinander mit dem Träger verbunden werden. Damit wird das Problem sowohl der auftretenden mechanischen Spannungen als auch der Verkrümmungen von einer großen Fläche der Breite B auf k kleinere Flächen von Breiten kleiner als B/k verringert. Der erfindungswesentliche Unterschied zu der spannungsinduzierten Vereinzelung (DE 196 44 941) besteht in dem Unterschied der auftretenden Montagespannungen und deren Wirkung. Bei der zugverspannten Montage (DE 196 44 941) ist die Hartlösung Voraussetzung für die Vereinzelung, während bei der erfindungsgemäßen druckverspannten Montage die Vereinzelung Voraussetzung für die Hartlösung ist.

Neben dem durch die Vereinzelung zu Teilsubstraten in Form unabhängiger Stege mechanisch wesentlich verbesserten Aufbau der Wärmesonde, besitzt die erfindungsgemäße Lösung eine Reihe weiterer Vorteile.

Da die Form der vereinzelten Substrat-Stäge nicht nur hinsichtlich ihrer Höhe (der Substratdicke) variiert werden kann, sondern auch hinsichtlich ihrer individuellen Breite und ihres individuellen Abstandes, wird damit für eine Ausdehnungsanpassung neben der Variation der Dickenverhältnisse von Substrat zu Trägermaterial ein weiterer Freiheitsgrad gewonnen, nämlich das Verhältnis von Stegabstand zu Stegbreite. Dies ist sehr vorteilhaft, wenn man an bestimmte Dickenvorgaben von Substrat oder Träger gebunden ist.

Im Unterschied zu einer Montage auf einem geschlossenen Substrat, wo für die individuelle Adressierbarkeit eine Leiterbahnstruktur in Form einer strukturierten Metallisierung auf dem Substrat vorliegen muß, kann bei dem in einzelne Stege zerlegten Substrat vorteilhafterweise der Stegabstand so breit gewählt werden, wie der Emitterabstand zweier Laserdioden ist. Damit liegt bereits eine getrennte Stromzuführung zu den Laserdioden vor und man kann auf den Prozeß des naßchemischen Strukturierens der Metallisierung verzichten.

Darüber hinaus wird die Möglichkeit von unerwünschten Wechselwirkungen, z. B. thermisches Übersprechen zwischen den einzelnen Emittern, reduziert.

Mitunter sind Emitteranzahl und Füllfaktor von Laserbarren sehr variabel. Soll dennoch die Steganzahl des Substrats beibehalten werden, so sind daraus drei unterschiedliche, für verschiedene Laserbarren-Strukturen vorteilhafte Montage-Konfigurationen möglich: (a) die bereits erwähnte, in der eine Laserdiode auf einem Steg liegt, (b) bei großer Emitteranzahl eine Konfiguration, in der jeweils mehrere Laserdioden auf einem Steg liegen und (c) bei niedriger Emitterzahl eine Konfiguration, in der sich eine Laserdiode in ihrer Lage über mehrere Stege erstreckt, vorzugsweise derart, daß der Emitter nicht über einem Spalt liegt.

Die Erfindung soll nachfolgend an drei Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen näher erläutert werden.

Dazu zeigen:

Fig. 1a eine Explosivdarstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelementes;

Fig. 1b einen Querschnitt in Seitenansicht des ersten Ausführungsbeispiels;

Fig. 2a eine Explosivdarstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelementes;

Fig. 2b einen Querschnitt in Seitenansicht des zweiten Ausführungsbeispiels;

Fig. 3a eine Explosivdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelementes;

Fig. 3b einen Querschnitt in Seitenansicht des dritten Ausführungsbeispiels.

## Ausführungsbeispiel 1

Ein Substrat 1 von transluzentem kubischen Bornitrid (t-cBN) mit den Maßen gleich der Laserbarrenbreite, einer Dicke von 0.2 bis 0.8 mm und einer Länge, die 1 bis 3 mal der Resonatorlänge der Laserdioden entspricht, wird ganzflächig ober- und unterseitig mit einer Dünnenschichtmetallisierung 4a versehen. Anschließend werden mit einem Laser parallele Kanäle 1a von 10 bis 50  $\mu\text{m}$  Breite in das Substrat 1 und durch es hindurch geschnitten. Damit ergibt sich eine Stegstruktur. Im ersten Ausführungsbeispiel (Fig. 1a und 1b) stimmt die Anzahl der entstehenden Stege 1b mit der Anzahl der Emitter 3a des zu montierenden Laserbarrens 3 überein. Anschließend wird die Dünnenschichtmetallisierung 4a auf den Stegen galvanisch mit Kupfer verstärkt, bis sich oberseitig eine für die Stromführung nötige Metallschichtdicke (substratoberseitige Dickschichtmetallisierung 4b) etabliert hat und sich unterseitig die Steglücken über das abgeschiedene Metall (substratunterseitige Dickschichtmetallisierung 4c) wieder schließen. Als nötige Leiterdicke wird jene angesehen, bei der die Stromdichte in Flußrichtung die Hälfte des Schwellwertes für Elektromigration von 100000 A/cm<sup>2</sup> besitzt (für einen 1 cm breiten Laserbarren 3, der mit 100 Ampère Gleichstrom betrieben wird, liegt sie beispielsweise bei 20  $\mu\text{m}$ ). Zur besseren Lötlarkeit werden die Dickschichtmetallisierungen vernickelt und vergoldet. Danach kann die Stegstruktur komplett aus dem umgebenden Substrat 1 herausgeschnitten werden, ohne daß sich die einzelnen Stege voneinander trennen, weil sie über die Dickschichtmetallisierungen 4a und 4b miteinander verbunden sind. Nachfolgend wird die so erhaltene Stegstruktur mit einem eutektischen AuGe-Lot 5 mit einem 1.5 mm starken vergoldeten Kupferträger 2 verbunden, wodurch sich an der Montagefläche ein Ausdehnungskoeffizient von annähernd 6.5 ppm/K ausbildet. Nun kann auf die Montagefläche eutektisches Gold-Zinn-Lot 6 gesputtert werden, das der Laserbarrenlötlösung dient.

## Ausführungsbeispiel 2

Ein CVD-Diamantsubstrat 1 in Laserbarrenbreite, einer Dicke von 0.1 bis 0.5 mm und von einer Länge, die 2 bis 5 mal der Resonatorlänge der Laserdioden des Laserbarrens 3 entspricht, wird oberseitig strukturiert mit Gold metallisiert 4a mit einer Anzahl von Leiterbahnen, die der Anzahl der Emitter 3a des Laserbarrens entspricht. Anschließend werden mit Hilfe eines Lasers zwischen jeder zweiten Leiterbahn 10 bis 100  $\mu\text{m}$  breite durchgehende Kanäle 1a in das Substrat 1 ge-

# DE 198 21 544 A 1

schnitten. Dabei wird der Schnitt aber nur soweit durchgezogen, daß alle Stege 1b am Ende über einen gemeinsamen Quersteg 1c verbunden bleiben. Als Träger 2 für diese so entstandene Diamant-Kammstruktur wird eine Wärmesenke aus einem 1.5 mm starken Aluminiumoxid-Kupfer-Verbund gewählt, die in Mehrlagen-DCB-Technik gefertigt wurde und eine interne Mikrokanalstruktur 7 mit Zu- und Abläufen 7a, 7b für die Flüssigkeitskühlung des Bauelements enthält.

5 Die Aluminiumoxid-Lage 2b befindet sich gegenüber der Kühlkanalstruktur auf der Seite, die dem Laserbarren abgewandt ist, und übt damit keinen negativen Einfluß auf den thermischen Widerstand der Wärmesenke aus. Sie dient nur der Erhöhung der Stabilität dieses Kühlers, der durch Mikrokanäle leichter verbiegungsanfällig wird. Auf die Deckenschicht der Mikrokanäle aus Kupfer wird nun mit einer 10 µm dünnen Schicht Aktivlot 5 der Diamant direkt gelötet. Im Sinne der Erfindung ist die Länge der Lötverbindungsfläche kleiner als die Länge der Diamantstege 1b, so daß der Verbindungssteg 1c nicht mit dem Kühler verlötet wird. Die Stromzuführung wird zugleich mit dem Laserbarren gelötet: Eine 25 µm dünne Kupferfolie wird galvanisch mit Gold und Zinn beschichtet, welches durch Umschmelzen vor dem eigentlichen Löten in eutektisches Gold-Zinn-Lot 5 umgewandelt wird. Die Kupferfolie wird gleichzeitig mit dem Laserbarren 3 auf der Metallisierung 4a des Diamantkammes aufgelötet, und dient als Stromzuführ zu den p-Kontakten der einzelnen Laserdioden. Zur Herstellung der Einzelansteuerbarkeit ließe sich die Kupferfolie 4b vor der galvanischen Belötung mittels selektiven Äzens so strukturieren, daß sie auf einer Seite Stege in gleicher Anzahl wie Emitter im Laserbarren aufweist und nach der Lötung am Ende ihrer Stege abgetrennt wird.

## Ausführungsbeispiel 3

20 Ein CVD-Diamantsubstrat 1 in Laserbarrenbreite, mit einer Dicke von 0.3 bis 1 mm und von einer Länge, die 2 bis 5 mal der Resonatorlänge des Laserdiodes des Laserbarrens 3 entspricht, wird oberseitig mit Gold 4a und an der Vorderseite mit Gold 4d ganzflächig metallisiert. Die Unterseite wird nur auf einer Länge von 70% vom vorderen Rand an gerechnet mit 5 µm eutektischem Gold-Zinn-Lot 5 besputtert. Nun wird die in Ausführungsbeispiel 2 beschriebene Kammstruktur 1b in den Diamanten geschnitten mit dem Unterschied, daß durch die Metallisierungsschichten 4a und 5 hindurchgeschnitten wird (beim Schneiden kann es an den Kanten zu Graphitrückständen an den Stegwänden kommen, die sich durch spezifische Widerstände im Bereich von 1 bis 2 mOhm cm auszeichnen). Zusätzlich wird am Ende der einzelnen Stege 1b in die Unterseite des Substrats vor dem Verbindungssteg 1c und hinter der Gold-Zinn-Belötung 5 eine Sollbruchstelle 1d von 0.15 mm Tiefe geschnitten. Dieser Diamantkamm 1 wird mit seiner Unterseite auf einen 2 mm dicken vergoldeten Kupferträger 2 aufgelötet, der einen flächigen, teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllten, Hohlräum 7 enthält, der die Funktion eines Wärmerohres besitzt. Der Verbindungssteg 1c kann nach dem Abkühlen abgebrochen werden und die Stege 1b stehen einzeln frei. Die einzelnen Leiterbahnen 4a sind nun elektrisch mit dem Kupferkühler verbunden und werden zusammen mit ihm galvanisch um 10 µm Gold 4b verstärkt. Anschließend werden die Leiterbahnen mit eutektischem Blei-Zinn-Lot 6 bedampft. Dieses Lot dient schließlich dazu, den Laserbarren auf die ausdehnungsangepaßte Wärmesenke zu löten.

25 35 Für eine individuelle Ansteuerung der einzelnen Emitters müßte die Vorderseitenmetallisierung 4d weggelassen werden und statt dessen nach der Substratlötung Goldbonddrähte 4e zum Kupferträger 1 gezogen werden, die nach der galvanischen Verstärkung wieder durchtrennt werden.

## Bezugszeichenliste

40 1 Substrat  
1a Schlitz, Kanal  
1b Teilsstrat, Steg  
1c Verbindungssteg, Quersteg  
45 1d Einkerbung, Sollbruchstelle  
2 Träger  
2a Kupferschicht  
2b Verstärkungsschicht, Keramikschicht  
3 Laserbarren  
50 3a Emittor  
4a Dünnenschichtmetallisierung <2µm  
4b substratoberseitige Dickschichtmetallisierung >2µm  
4c substratunterseitige Dickschichtmetallisierung >2 µm  
4d substratvorderseitige Dünnenschichtmetallisierung <2µm  
55 4e Bonddraht  
5 Lotschicht zwischen Substrat und Träger  
6 Lotschicht zwischen Substrat und Diodenlaser-Barren  
7 Hohlräum, Kühlkanalstruktur  
7a Ablauf  
60 7b Zulauf

## Patentansprüche

65 1. Diodenlaserbauelement, bestehend aus einem Laserbarren (3) und einer Wärmesenke, mit einem Träger (2), der aus einem Material mit einem Ausdehnungskoeffizient, der effektiv größer ist als der des zu montierenden Laserbarrens (3) besteht, der flächig mit einem hochwärmeleitfähigen dielektrischen Substrat (1) verbunden ist und an dessen Oberseite eine Metallisierung (4a, 4b) zur elektrischen Stromführung und Kontaktierung vorhanden ist, auf die der Laserbarren (3) mittels eines Lotes (6) montiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) über die

# DE 198 21 544 A 1

Laserbarren-Breite in Form einer Reihe einzelner Teilstücke (1b) zu Stegen ausgebildet ist, so daß sich an der Oberseite der mit dem Träger (2) flächig verbundenen Reihe von Teilstücken (1b) im Bereich der Montagefläche des Laserbarrens (3) eine thermische Ausdehnung ergibt, die der des Laserbarrens auf weniger als 25% angepaßt ist. 5

2. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Stege (1b) des Substrats (1) der Anzahl n der Emittoren (3a) des Laserbarrens (3) entspricht, und dieser auf den Stegen (1b) so montiert ist, daß die Emittormitten jeweils auf einer Linie mit den Stegen mitten liegen. 10

3. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) aus t-cBN oder CVD-Diamant besteht. 10

4. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (1b) des Substrats miteinander über einen Quersteg (1c) verbunden sind, ohne daß dieser flächig mit dem Träger (2) verbunden ist. 15

5. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß die individuellen Metallisierungsstreifen (4a, 4b) jeden Stegs (1b) mit wenigstens einem Nachbarn über einen elektrischen Widerstand von beliebiger Größe miteinander verbunden sind. 15

6. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (2) aus massivem Kupfer oder wenigstens zwei flächig miteinander verbundenen Lagen Kupfer (2a) besteht. 20

7. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (2) wenigstens einen abgeschlossenen Hohlraum (7) besitzt, der teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, die einen konvektiven Wärmetransport von der wärmeeintragenden Region des Trägers unterhalb des Substrats (1) durch Verdampfung zu einer wärmeentziehenden Region des Trägers mit dortiger Kondensation und Rücklauf als Flüssigkeit zur wärmeeintragenden Region des Trägers ermöglicht und damit nach dem Prinzip eines Wärmerohres (engl. heat pipe) funktioniert. 20

8. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, daß der Träger aus wenigstens zwei Lagen Kupfer (2a) besteht, von denen in wenigstens einer eine Kühlkanalstruktur (7) eingebracht ist, die über Zu- und Abläufe (7a, 7b) in derselben oder anderen Lagen mit einem flüssigen oder gasförmigen Medium versorgt werden kann, das eine konvektive Wärmeabfuhr ermöglicht. 25

9. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Kupferlagen (2a) durch eine Lage aus einem anderen Material ersetzt ist, die dazu dient, die mechanische Stabilität und/ oder die Wärmeleitfähigkeit des Trägers (2) zu erhöhen. 30

10. Verfahren zur Herstellung eines Diodenlaserbauelements nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß zuerst die Verbindung der Stege (1b) des Substrats (1) dem Träger (2) durchgeführt wird und anschließend die Lözung des Laserbarrens (3) auf die Oberfläche des Substrats (1) mittels eines Lotes (6) erfolgt, ohne daß sich die Verbindung zwischen Substrat (1) und Träger (2) zeitweilig löst. 35

11. Verfahren nach Anspruch 10 dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (1b) des Substrats (1) mit einem Hartlot (5) auf den Träger (2) aufgelötet werden. 35

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11 dadurch gekennzeichnet, daß der Laserbarren (3) auf die Metallisierung (4a, 4b) des Substrats (1) mit einem Weichlot (6) aufgelötet wird. 40

13. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11 dadurch gekennzeichnet, daß der Laserbarren (3) auf die Metallisierung (4a, 4b) des Substrats (1) mit einem Hartlot (6) aufgelötet ist. 40

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

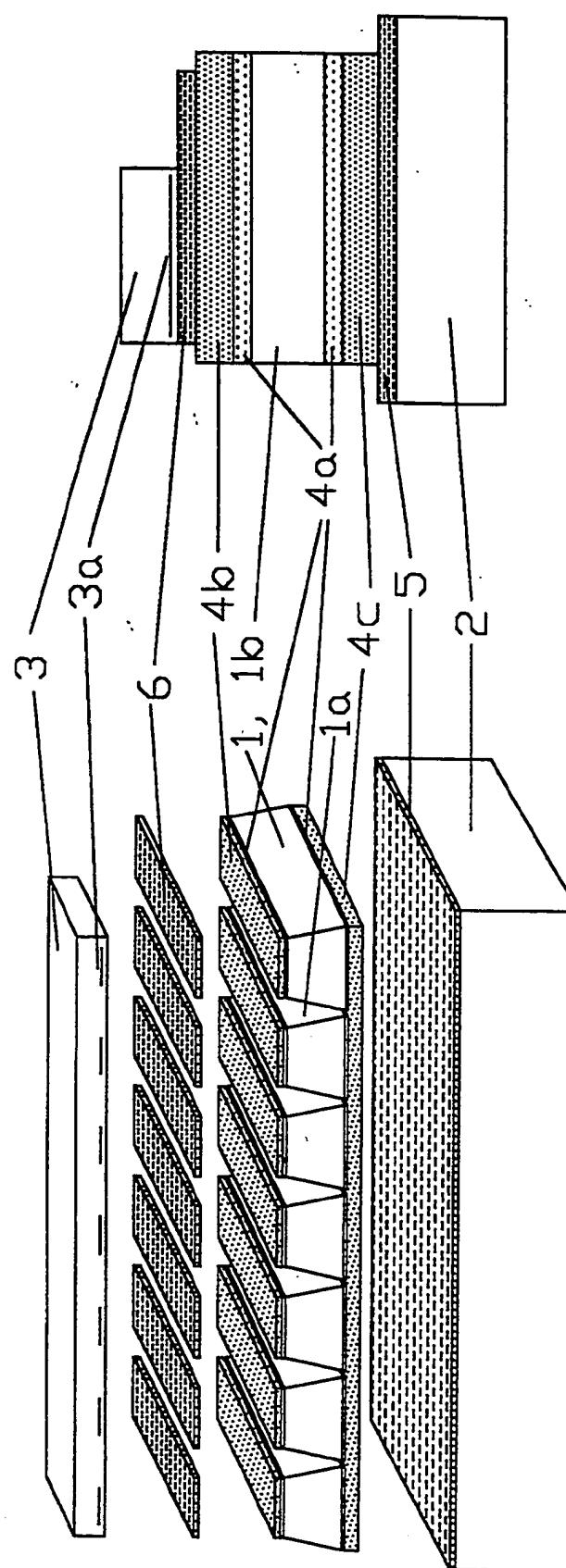


Fig. 1k  
Fig. 1Q

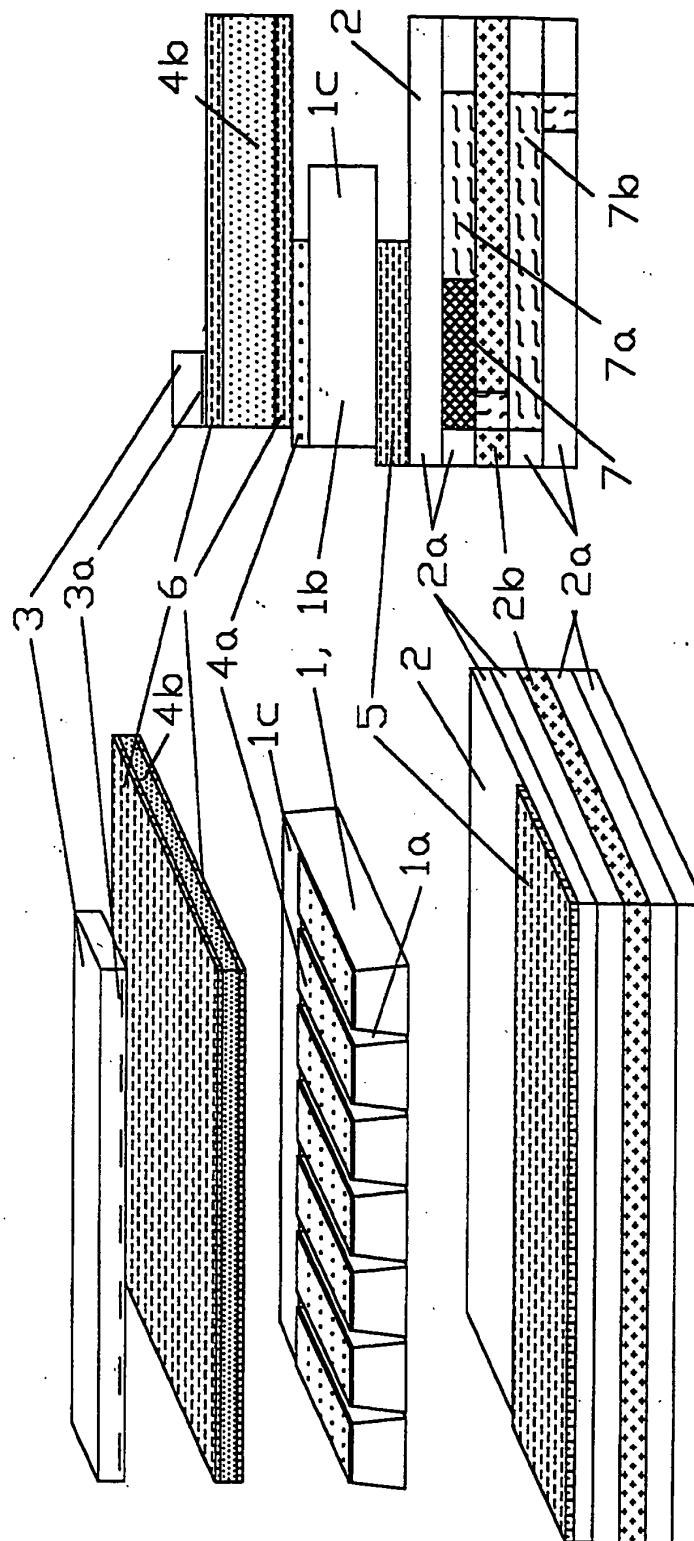


Fig. 2 $\alpha$   
Fig. 2 $b$

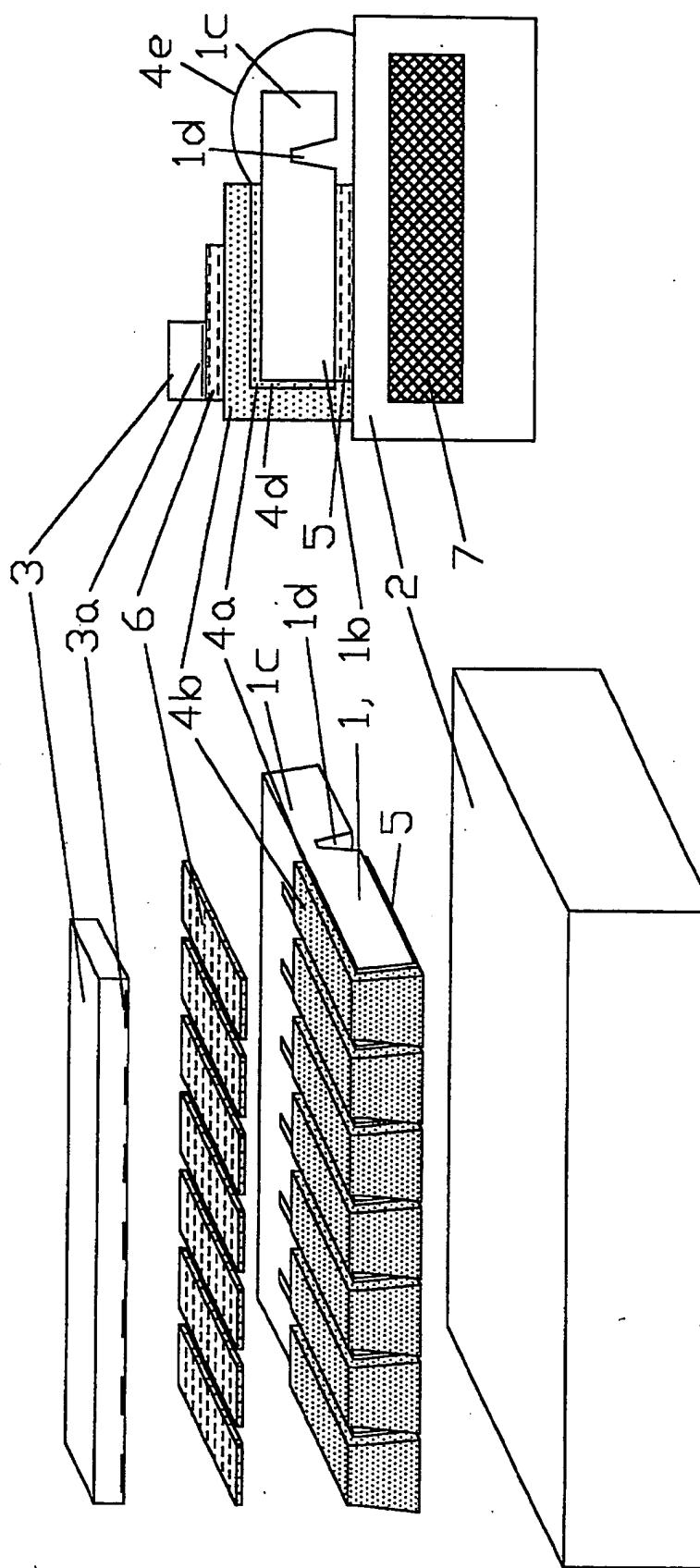


Fig. 3a  
Fig. 3b

Docket # 92000171  
Applic. # 09/932,898  
Applicant: Acllin et al.

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101